

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 708 130**

21 Número de solicitud: 201731182

51 Int. Cl.:

H02M 7/48

(2007.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

06.10.2017

43 Fecha de publicación de la solicitud:

08.04.2019

Fecha de concesión:

26.08.2019

45 Fecha de publicación de la concesión:

02.09.2019

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD DE SEVILLA (100.0%)
Pabellón de Brasil - Pº de las Delicias, s/n
41013 Sevilla (Sevilla) ES**

72 Inventor/es:

**GORDILLO ÁLVAREZ, Francisco;
SALAS GÓMEZ, Francisco;
CUESTA ROJO, Federico;
VENTOSA CUTILLAS, Antonio y
GÓMEZ-ESTERN AGUILAR, Fabio**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

54 Título: **MÉTODO DE BALANCE DE TENSIONES DE LOS CONDENSADORES DEL BUS DE CORRIENTE CONTINUA DE UN CONVERTIDOR NPC**

57 Resumen:

Método de balance de tensiones de los condensadores del bus de corriente continua de un convertidor NPC.

La presente invención describe un método de balance de tensión de los condensadores del bus de corriente continua de un convertidor de potencia NPC (Neutral-Point-Clamped) de tres niveles que comprende un primer y un segundo condensador que conforman el bus de continua y que están asociados a una pluralidad de elementos de conmutación. Concretamente este método de control comprende obtener los ciclos de trabajo en función de las componentes de la tensión de referencia para minimizar el número de conmutaciones de los elementos de conmutación del convertidor de potencia NPC de tres niveles.

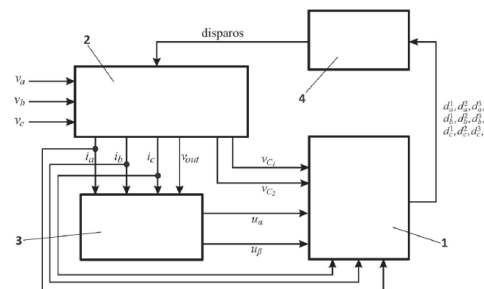


FIG. 1

ES 2 708 130 B2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015. Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

DESCRIPCIÓN

MÉTODO DE BALANCE DE TENSIONES DE LOS CONDENSADORES DEL BUS DE CORRIENTE CONTINUA DE UN CONVERTIDOR NPC

5

OBJETO DE LA INVENCION

La presente invención se engloba dentro del ámbito de los métodos de control de convertidores de potencia multinivel.

10

Más concretamente, el objeto de la presente invención es un método para el control del balance de tensiones de los condensadores del bus de continua de un convertidor de potencia NPC (Neutral-Point-Clamped) de tres niveles.

15

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Actualmente, el uso de convertidores de potencia está altamente extendido en distintos sectores industriales que trabajan en media y alta potencia, tal como: procesos electromecánicos o electroquímicos, sistemas de almacenamiento de energía, sistemas renovables de generación eléctrica, transmisión de energía o fuentes de energía ininterrumpida.

20

Estos convertidores de potencia son sistemas electrónicos capaces de alterar las características de la tensión y de la corriente que reciben, transformándolas de manera optimizada para la aplicación específica a la que vayan a ser destinadas.

25

Desde la aparición de la topología NPC de convertidores de potencia multinivel, tal y como está descrito por A. Nabea et al. en "A Neutral-Point Clamped PWM Inverter", IEEE Transactions on Industrial Applications, volumen: IA-17, número: 5, páginas: 518-523, 1981, el uso de los convertidores de potencia multinivel en aplicaciones con requerimientos de media y alta potencia eléctrica se ha ido extendiendo progresivamente.

30

Esto es debido a que los convertidores de potencia NPC de tres niveles, en comparación con otras topologías, presentan una elevada tensión de salida, una

35

reducción de la distorsión de los armónicos así como del desgaste de los dispositivos semiconductores o un flujo de potencia bidireccional, entre otras ventajas.

5 El número de dispositivos semiconductores de potencia y de condensadores que conforman el convertidor de potencia multinivel, así como la estructura de la vinculación entre sí, depende de la topología del propio convertidor de potencia multinivel. Algunas otras topologías más comunes son el convertidor de potencia con diodos anclados DCC (Diode-Clamped Converter), el convertidor de potencia con condensadores flotantes (Flying Capacitor Converter), o el convertidor de potencia con
10 conexión en cascada de puentes monofásicos (Cascaded Full-Bridged Converter).

A pesar de las ventajas de los convertidores de potencia multinivel, su control no es una tarea sencilla y, asimismo la complejidad aumenta conforme se incrementa el número de niveles. Adicionalmente, cabe destacar el problema del balance de
15 tensiones de los condensadores del bus de continua. Actualmente, el balance de tensiones de los condensadores del bus de continua es uno de los mayores problemas que presentan los convertidores de potencia NPC de tres niveles, ya que el desbalance de tensiones de los condensadores del bus de continua produce un deterioro en la forma senoidal de las tensiones que da lugar a un funcionamiento no
20 deseado del convertidor de potencia multinivel, e incluso puede suponer el también deterioro de los condensadores, así como del convertidor de potencia multinivel completo.

Un ejemplo de dispositivo de control para convertidores de potencia NPC de tres
25 niveles, que pretende solucionar estos problemas, está descrito por Stala, R., et al. en "Application of Balancing Circuit for DC-link Voltages Balance in a Single-Phase Diode-Clamped Inverter with Two Three-Level Legs", IEEE Transactions on Industrial Electronics, 58(9), 4185-4195, 2011. Más concretamente, este dispositivo de control se basa en la inclusión de circuitería adicional, tipo circuito RLC pasivo, para mantener
30 fijas las tensiones de los condensadores lo que supone un importante aumento en el coste del sistema, así como en el tamaño y peso del mismo.

Actualmente, en el control de convertidores de potencia NPC de tres niveles es usual trabajar con modelos promediados donde los valores promediados de las señales
35 discretas de actuación se consideran señales continuas. Para implementar las instrucciones de control resultantes de estos modelos se necesita una fase de

discretización, normalmente conocida como modulación. El objetivo de esta fase de modulación es el cálculo de los valores discretos de las señales de actuación (destinadas a la apertura o cierre de los elementos de conmutación del convertidor de potencia NPC) en función de los valores promediados calculados. Las técnicas de modulación más utilizadas son Carrier-Based Pulse Width Modulation (CB-PWM) y Space Vector Modulation (SVM), teniendo ambas múltiples variantes.

Los métodos de control para el balance de tensiones en convertidores de potencia NPC de tres niveles basados en la modulación, si bien requieren algoritmos y estrategias de control muy elaboradas, representan una apuesta más económica que el uso de circuitería adicional. Algunos de estos complejos métodos están descritos por J. Pou et al. en "Fast-Processing Modulation Strategy for the Neutral-Point-Clamped Converter with Total Elimination of Low-Frequency Voltage Oscillations in the Neutral Point" IEEE Transactions on Industrial Electronics; 54(4):2288–2294, 2007, o por A. Lewicki et al. en "Space-Vector Pulsewidth Modulation for Three-Level NPC Converter with the Neutral Point Voltage Control", IEEE Transactions on Industrial Electronics; 58(11):5076–5086, 2011.

Habitualmente estos métodos de control aumentan la complejidad del algoritmo y el número de conmutaciones de los elementos de conmutación con lo que aumentan las pérdidas eléctricas.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención describe un método de balance de tensiones de los condensadores del bus de corriente continua de un convertidor de potencia NPC de tres niveles que comprende un primer y un segundo condensador que conforman el bus de continua y que están asociados a una pluralidad de elementos de conmutación que transforman la señal de entrada que reciben.

30

Concretamente, el método comprende las siguientes etapas:

- a) recibir unas intensidades de fase (i_a , i_b , i_c), unas tensiones de los condensadores (v_{c1} , v_{c2}), una primera y segunda componente de una tensión de referencia en coordenadas $\alpha\beta\gamma$, u_α y u_β ,

- b) asignar un valor a una tercera componente de la tensión de referencia u_γ en función del signo de la diferencia de tensiones entre los condensadores, y de las intensidades de fase (i_a, i_b, i_c), y
- c) obtener los ciclos de trabajo en función de las componentes de la tensión de referencia para minimizar el número de conmutaciones de los elementos de conmutación del convertidor de potencia NPC de tres niveles.

Concretamente, el método recibe de una unidad de control de potencia externa la primera y la segunda componente u_α, u_β . Adicionalmente las intensidades de fase (i_a, i_b, i_c) y las tensiones de los condensadores (v_{c1}, v_{c2}) son recibidas del propio convertidor de potencia NPC de tres niveles.

Este método permite asignar el valor de la tercera componente u_γ para obtener las tensiones de referencia en coordenadas abc mediante el uso de la transformada de Clarke-Concordia y así obtener unas componentes transformadas u_a, u_b, u_c , mediante las cuales generar un ciclo de trabajo acorde a dichas tensiones, que es aplicado al convertidor de potencia NPC de tres niveles a través de una unidad de modulación. De este modo se consigue el balance de tensiones de forma sencilla y eficiente y sin aumentar el número de conmutaciones realizado por la pluralidad de elementos de conmutación.

Más concretamente, dichas componentes transformadas u_a, u_b y u_c representan los valores normalizados de las componentes transformadas en el sentido que el valor $u_a = -1$ corresponde al caso en el que la fase a está conectada al valor inferior de tensión, $u_a = 0$ corresponde al valor intermedio y $u_a = 1$ al valor superior. La normalización en coordenadas $\alpha\beta\gamma$ debe ser consistente con la anterior, tras realizar dicha transformación de Clarke-Concordia de la tensión de referencia.

Esto se basa en la ecuación diferencial que gobierna la diferencia de tensiones entre los condensadores (v_{c1}, v_{c2}), la cual se expresa de la forma:

$$C \frac{dv_d}{dt} = i_a(d_{ap} + d_{an}) + i_b(d_{bp} + d_{bn}) + i_c(d_{cp} + d_{cn})$$

Donde la diferencia de tensiones se expresa como la resta de la tensión del primer y el segundo condensador, $v_d = v_{c1} - v_{c2}$ y los términos entre paréntesis representan los

ciclos de trabajo de cada una de las fases en nivel positivo y negativo. Este método impone en cada fase (*abc*) que uno de estos niveles sea cero, de modo que la derivada anterior se puede expresar en función de las componentes transformadas u_a , u_b , u_c de la tensión de referencia tal y como:

$$C \frac{dv_d}{dt} = i_a |u_a| + i_b |u_b| + i_c |u_c|$$

5

El método se basa en minimizar en cada instante de muestreo la función:

$$\text{signo}(v_d)(i_a |u_a| + i_b |u_b| + i_c |u_c|)$$

La función $\text{signo}(v_d)$ devuelve un número de acuerdo a las siguientes reglas:

- cuando v_d es superior a 0 su resultado es 1,
- cuando v_d es igual a 0 su resultado es 0,
- cuando v_d es inferior a 0 su resultado es -1,

10

El problema de optimización planteado es lineal a tramos por lo que basta evaluar la función de coste en una serie de puntos (como máximo 5) y elegir el menor de ellos.

15

De este modo, por medio de una lógica y unas fórmulas extraordinariamente simples es posible calcular las señales discretas, resolviendo al mismo tiempo el problema del balance de tensiones en convertidores de potencia NPC de tres niveles. Los beneficios frente a los métodos existentes son su simplicidad, que redundará en un menor coste computacional y su eficiencia, ya que se mantiene bajo el número de conmutaciones lo que mantienen bajas las pérdidas sin requerir la inclusión de circuitería adicional.

20

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

25

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

Figura 1.- Muestra una vista de un esquema de conexiones de un convertidor de potencia NPC de tres niveles a controlar mediante el método de la presente invención.

Figura 2.- Muestra una vista esquemática de las tensiones de referencia y los valores límite establecidos.

Figura 3.- Muestra una vista esquemática de la evolución de las corrientes de fase en un ejemplo simulado.

Figura 4.- Muestra una vista esquemática de la evolución de la diferencia de tensiones entre el primer y el segundo condensador en un ejemplo simulado.

Figura 5.- Muestra una vista esquemática de la evolución de los niveles activos para cada fase junto a su valor promedio en un ejemplo simulado.

15

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

En una realización preferente de la presente invención el método se utiliza para balancear las tensiones de los condensadores del bus de corriente continua de un convertidor de potencia NPC de tres niveles (2) que comprende dichos condensadores asociados a una pluralidad de elementos de conmutación no representados y que está vinculado, tal y como se muestra en la figura 1, con al menos una unidad de control de potencia externa (3), y con una unidad de modulación (4).

Para este método son conocidas, las intensidades de fase (i_a , i_b , i_c), las tensiones de los condensadores (v_{c1} , v_{c2}), y la primera y segunda componente de la tensión de referencia en coordenadas $\alpha\beta\gamma$, u_α y u_β , las cuales se han calculado mediante la unidad de control de potencia externa (3). Este método permite asignar un valor a la tercera componente de la tensión de referencia u_γ , para realizar posteriormente el cálculo de las tensiones de referencia en coordenadas abc mediante la transformación de Clarke-Concordia.

Más concretamente, el método comprende las siguientes etapas:

a) recibir las intensidades de fase (i_a , i_b , i_c), las tensiones de los condensadores (v_{c1} , v_{c2}), la primera y segunda componente u_α y u_β ,

- b) Asignar un valor a la tercera componente u_γ en función del signo de la diferencia de tensiones entre los condensadores, y de las intensidades de fase (i_a, i_b, i_c), y
- c) obtener ciclos de trabajo en función de las componentes u_α, u_β , y u_γ para minimizar el número de conmutaciones de los elementos de conmutación del convertidor de potencia NPC de tres niveles.

Más concretamente, la etapa b) comprende las subetapas:

- obtener a partir de las componentes u_α, u_β , y u_γ las componentes transformadas u_a, u_b y u_c , mediante la transformada de Clarke-Concordia, donde los valores las componentes transformadas u_a, u_b y u_c , están limitados entre un límite superior e inferior. Este límite superior e inferior es 1 y -1 respectivamente,

Más concretamente para obtener dichas componentes transformadas u_a, u_b y u_c se realizan las siguientes etapas:

- Expresar las componentes transformadas u_a, u_b y u_c según las siguientes ecuaciones:

$$u_a = \delta_a + x$$

$$u_b = \delta_b + x$$

$$u_c = \delta_c + x$$

donde, estas ecuaciones corresponden a tres rectas paralelas acordes a la figura 2, donde δ_a, δ_b y δ_c son valores fijos, x un valor variable que está comprendido entre x_{\min} y x_{\max} , y u_a, u_b y u_c deben estar comprendidas entre -1 y 1.

- calcular las ordenadas en el origen de las tres rectas paralelas:

$$\delta_a = \sqrt{2/3}u_\alpha$$

$$\delta_b = -\frac{1}{\sqrt{6}}u_\alpha + \frac{1}{\sqrt{2}}u_\beta$$

$$\delta_c = -\frac{1}{\sqrt{6}}u_\alpha - \frac{1}{\sqrt{2}}u_\beta$$

- denominar $\bar{\delta}_1$ al menor de los valores anteriores δ_a , δ_b y δ_c y $\bar{\delta}_3$ al mayor de dichos valores anteriores δ_a , δ_b y δ_c ,

- 5
- obtener los valores de x_{\min} y x_{\max} , según:

$$x_{\min} = -1 - \delta_1$$

$$x_{\max} = 1 - \delta_3$$

- calcular los valores de x para los que se anulan las componentes transformadas u_a , u_b y u_c , según:

$$x_{a0} = -\delta_a$$

$$x_{b0} = -\delta_b$$

$$x_{c0} = -\delta_c$$

- 10
- formar un conjunto de puntos x dentro de los valores x_{\min} y x_{\max} y calcular la función objetivo a minimizar, según:

$$x = x_{a0}: \text{Si } x_{\min} < x_{a0} < x_{\max}, f_{xa0} = I_b|\delta_b - \delta_a| + I_c|\delta_c - \delta_a|, \text{ sino } f_{xa0} = \infty$$

$$x = x_{b0}: \text{Si } x_{\min} < x_{b0} < x_{\max}, f_{xb0} = I_a|\delta_a - \delta_b| + I_c|\delta_c - \delta_b|, \text{ sino } f_{xb0} = \infty$$

$$x = x_{c0}: \text{Si } x_{\min} < x_{c0} < x_{\max}, f_{xc0} = I_a|\delta_a - \delta_c| + I_b|\delta_b - \delta_c|, \text{ sino } f_{xc0} = \infty$$

15

$$x = x_{\min}: f_{x\min} = I_a|\delta_a + x_{\min}| + I_b|\delta_b + x_{\min}| + I_c|\delta_c + x_{\min}|$$

$$x = x_{\max}: f_{x\max} = I_a|\delta_a + x_{\max}| + I_b|\delta_b + x_{\max}| + I_c|\delta_c + x_{\max}|$$

- seleccionar el valor de la variable x^* que minimiza la función objetivo eligiendo el valor mínimo de los siguientes casos:

20

$$\text{signo}(v_d) \cdot f_{xa0}$$

$$\text{signo}(v_d) \cdot f_{xb0}$$

$$\text{signo}(v_d) \cdot f_{xc0}$$

$$\text{signo}(v_d) \cdot f_{x\min}$$

$$\text{signo}(v_d) \cdot f_{x\max}$$

- 25
- obtener las componentes transformadas u_a , u_b y u_c , de la tensión de referencia con el valor variable x^* , según

$$u_a = x^* + \delta_a$$

$$u_b = x^* + \delta_b$$

30

$$u_c = x^* + \delta_c$$

Mientras que la etapa c) comprende las siguientes subetapas:

- 5 • calcular los niveles adyacentes, redondeando las tensiones u_a , u_b y u_c al menor entero más cercano

$$l_i^1 = \text{floor}(u_i) \text{ (siendo } u_i \text{ cada una de } u_a, u_b \text{ y } u_c)$$

$$l_i^2 = l_i^1 + 1$$

donde $\text{floor}(x)$ indica el mayor entero menor que x , y

- 10 • calcular los ciclos de trabajo (d) asociados a l_i^1 y l_i^2

$$d(l_i^2) = u_i - l_i^1$$

$$d(l_i^1) = 1 - d(l_i^2)$$

15 A continuación se debe realizar la implementación de estos ciclos de trabajo, por ejemplo pero no exclusivamente, mediante una modulación por ancho de pulso (PWM) implementada por una unidad de modulación (4) en sus distintas variantes. Es decir el método comprende una etapa d) que a su vez comprende enviar los ciclos de trabajo a dicha una unidad de modulación (4).

20 Para comprobar el funcionamiento del método, el dispositivo de control (1) que ejecuta dicho método descrito anteriormente, se vincula tal y como se muestra en la figura 1, con el convertidor de potencia NPC de tres niveles (2), con una unidad de control de potencia externa (3), y con una unidad de modulación (4). Adicionalmente, el convertidor de potencia NPC de tres niveles (2) está vinculado con la unidad de control de potencia (3) y con la unidad de modulación (4).

25 De este modo, el convertidor de potencia NPC de tres niveles (2) recibe una señal de entrada trifásica y genera mediante la conmutación de los elementos de conmutación una señal de salida de corriente continua. Destacar que debido a que estos convertidores de potencia NPC de tres niveles son reversibles, la conversión también podría ser de corriente continua a corriente alterna trifásica.

30 El dispositivo de control (1) comprende una pluralidad de entradas para recibir las intensidades de fase (i_a , i_b , i_c) y la tensión de los condensadores (v_{c1} , v_{c2}) desde el convertidor de potencia NPC de tres niveles (2), y los valores de las componentes u_α y u_β , desde la unidad de control de potencia (3).

Más concretamente, el dispositivo de control (1) comprende un microprocesador y una memoria vinculada con dicho microprocesador, donde la memoria a su vez comprende instrucciones que capacitan al microprocesador para:

5

a) recibir el valor de las intensidades de fase (i_a , i_b , i_c) y la tensión de los condensadores (v_{c1} , v_{c2}) y los valores la primera y segunda componente u_α y u_β de la tensión de referencia,

10

b) asignar el valor de la tercera componente u_γ de la tensión de referencia en función del signo de la diferencia de tensiones entre los condensadores y de las intensidades de fase, y

c) obtener los ciclos de trabajo en función de la tensión de referencia para minimizar el número de conmutaciones de los elementos de conmutación del convertidor de potencia NPC de tres niveles.

15

Adicionalmente el dispositivo de control (1) comprende una salida para enviar los ciclos de trabajo de cada nivel en cada fase que se implementan posteriormente en la unidad de modulación (4) mediante técnica PWM o equivalente.

20

Más concretamente, en las figuras 3, 4 y 5 se muestran los resultados de una simulación para los siguientes parámetros del circuito: $C=3300\mu\text{F}$, $L=3.5\text{mH}$, tensión de alimentación 230V, frecuencia 50Hz y carga resistiva de $60\ \Omega$. Para el control se ha elegido un periodo de muestreo de $200\ \mu\text{s}$. Para controlar las potencias instantáneas activa y reactiva, así como la tensión total de salida, y hacer que tiendan a sus respectivas referencias (se ha tomado 12000 W como referencia para la potencia activa y 0 Var para la reactiva) se ha utilizado la unidad de control de potencia externa (3) propuesto en el artículo "A Model-Based Direct Power Control for Three-Phase Power Converters" (autores: S. Vázquez, J. A. Sánchez, J. M. Carrasco, J. I. León y E. Galván, IEEE Transactions on Industrial Electronics, volumen: 55, número: 4, páginas: 1647-1657, abril 2008). Hay que señalar que cualquier otra unidad de control de potencia (3) que consiga controlar las potencias y la tensión total de salida también sería válido para reproducir esta simulación.

25

30

35

La simulación se ha realizado en Matlab-Simulink implementando los pulsos de los IGBTs a partir de los ciclos de trabajo obtenidos con el método que se reivindica mediante la técnica PWM utilizando una onda triangular de periodo igual al periodo de

muestreo. Las condiciones iniciales son $i_a=0$ A, $i_b =21.65$ A, $i_c =-21.65$ A, $v_{dc} =700$ V y diferencia de tensiones (v_d) igual a 100 V. En la figura 3 se muestra la evolución de las intensidades que no se ven afectadas por el método propuesto. La figura 4 muestra la evolución de la diferencia de tensiones que, partiendo del valor inicial de 100 V se acerca rápidamente a cero y se mantiene cercana a este valor. La figura 5 muestra la evolución del nivel activo en cada fase durante la primera parte de la simulación junto con su valor promediado.

REIVINDICACIONES

1.- Método de balance de tensión de los condensadores del bus de corriente continua de un convertidor de potencia NPC (Neutral-Point-Clamped) de tres niveles que comprende un primer y un segundo condensador que conforman el bus de continua y que están asociados a una pluralidad de elementos de conmutación, donde el método está caracterizado por que comprende las siguientes etapas:

- 5 a) recibir unas intensidades de fase (i_a, i_b, i_c), unas tensiones de los condensadores (v_{c1}, v_{c2}), una primera componente (u_α) y segunda componente (u_β) de una tensión de referencia en coordenadas $\alpha\beta\gamma$,
- 10 b) asignar un valor a una tercera componente (u_γ) de la tensión de referencia en función del signo de la diferencia de tensiones entre el primer y el segundo condensadores, y de las intensidades de fase (i_a, i_b, i_c), y
- 15 c) obtener ciclos de trabajo en función de las componentes de la tensión de referencia para minimizar el número de conmutaciones de los elementos de conmutación del convertidor de potencia NPC de tres niveles.

2.- Método, según la reivindicación 1, caracterizado porque el convertidor de potencia NPC de tres niveles (2) recibe de una unidad de control de potencia externa (3) la primera componente (u_α) y la segunda componente (u_β).

3.- Método, según la reivindicación 1, caracterizado porque dichas intensidades de fase (i_a, i_b, i_c) y las tensiones de los condensadores (v_{c1}, v_{c2}) son recibidas del propio convertidor de potencia NPC de tres niveles (2).

4.- Método, según la reivindicación 1, caracterizado porque la etapa b) de asignar un valor a una tercera componente (u_γ) comprende la siguiente subetapa:

- 30 • obtener, a partir de las componentes u_α, u_β , y u_γ , unas componentes transformadas u_a, u_b y u_c , mediante la transformada de Clarke-Concordia, donde los valores las componentes transformadas u_a, u_b y u_c , están limitados entre un límite inferior igual a -1 y un límite superior igual a 1.

5.- Método, según la reivindicación 4, caracterizado porque para obtener las componentes transformadas u_a, u_b y u_c , se realizan las siguientes etapas:

- expresar las componentes transformadas u_a , u_b y u_c según las siguientes ecuaciones:

$$u_a = \delta_a + x$$

$$u_b = \delta_b + x$$

$$u_c = \delta_c + x$$

- 5 donde, estas ecuaciones corresponden a tres rectas paralelas, donde δ_a , δ_b y δ_c son valores fijos, x un valor variable que está comprendido entre un valor x_{\min} y un valor x_{\max} , y u_a , u_b y u_c deben estar comprendidas entre -1 y 1;

- calcular las ordenadas en el origen de las tres rectas paralelas:

$$\delta_a = \sqrt{2/3}u_\alpha$$

10

$$\delta_b = -\frac{1}{\sqrt{6}}u_\alpha + \frac{1}{\sqrt{2}}u_\beta$$

$$\delta_c = -\frac{1}{\sqrt{6}}u_\alpha - \frac{1}{\sqrt{2}}u_\beta$$

- 15
- denominar $\bar{\delta}_1$ al menor de los tres valores δ_a , δ_b y δ_c anteriormente calculados, y denominar $\bar{\delta}_2$ al mayor de dichos tres valores δ_a , δ_b y δ_c anteriormente calculados,
 - obtener los valores de x_{\min} y x_{\max} , según:

$$x_{\min} = -1 - \delta_1$$

$$x_{\max} = 1 - \delta_3$$

- 20
- calcular los valores de x para los que se anulan las referencias de tensión u_a , u_b y u_c , según:

$$x_{a0} = -\delta_a$$

$$x_{b0} = -\delta_b$$

$$x_{c0} = -\delta_c$$

- formar un conjunto de puntos x comprendidos entre los valores x_{\min} y x_{\max} y calcular una función objetivo a minimizar, según:

25 $x = x_{a0}$: Si $x_{\min} < x_{a0} < x_{\max}$, $f_{xa0} = I_b|\delta_b - \delta_a| + I_c|\delta_c - \delta_a|$, sino $f_{xa0} = \infty$

$$x = x_{b0}: \text{Si } x_{min} < x_{b0} < x_{max}, f_{xb0} = I_a |\delta_a - \delta_b| + I_c |\delta_c - \delta_b|, \text{ sino } f_{xb0} = \infty$$

$$x = x_{c0}: \text{Si } x_{min} < x_{c0} < x_{max}, f_{xc0} = I_a |\delta_a - \delta_c| + I_b |\delta_b - \delta_c|, \text{ sino } f_{xc0} = \infty$$

$$x = x_{min}: f_{xmin} = I_a |\delta_a + x_{min}| + I_b |\delta_b + x_{min}| + I_c |\delta_c + x_{min}|$$

$$x = x_{max}: f_{xmax} = I_a |\delta_a + x_{max}| + I_b |\delta_b + x_{max}| + I_c |\delta_c + x_{max}|$$

5

- seleccionar el valor de una variable x^* que minimiza la función objetivo eligiendo el valor mínimo de los siguientes casos:

$$\text{signo}(v_d) \cdot f_{xa0}$$

$$\text{signo}(v_d) \cdot f_{xb0}$$

10

$$\text{signo}(v_d) \cdot f_{xc0}$$

$$\text{signo}(v_d) \cdot f_{xmin}$$

$$\text{signo}(v_d) \cdot f_{xmax}$$

- obtener las componentes u_a , u_b y u_c , de la tensión de referencia con el valor variable x^* , según

15

$$u_a = x^* + \delta_a$$

$$u_b = x^* + \delta_b$$

$$u_c = x^* + \delta_c$$

20 6.- Método, según las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la etapa c) comprende las subetapas:

- cálculo de los niveles adyacentes, redondeando las tensiones u_a , u_b y u_c al menor entero más cercano

25

$$l_i^1 = \text{floor}(u_i), \text{ donde } u_i \text{ es cada una de } u_a, u_b, u_c$$

$$l_i^2 = l_i^1 + 1$$

donde floor(x) indica el mayor entero menor que x, y

- cálculo de los ciclos de trabajo asociados a l_i^1 y l_i^2

$$d(l_i^2) = u_i - l_i^1$$

30

$$d(l_i^1) = 1 - d(l_i^2).$$

7.- Método, según la reivindicación anterior caracterizado porque comprende adicionalmente una etapa d) que a su vez comprende enviar los ciclos de trabajo a una unidad de modulación (4).

35

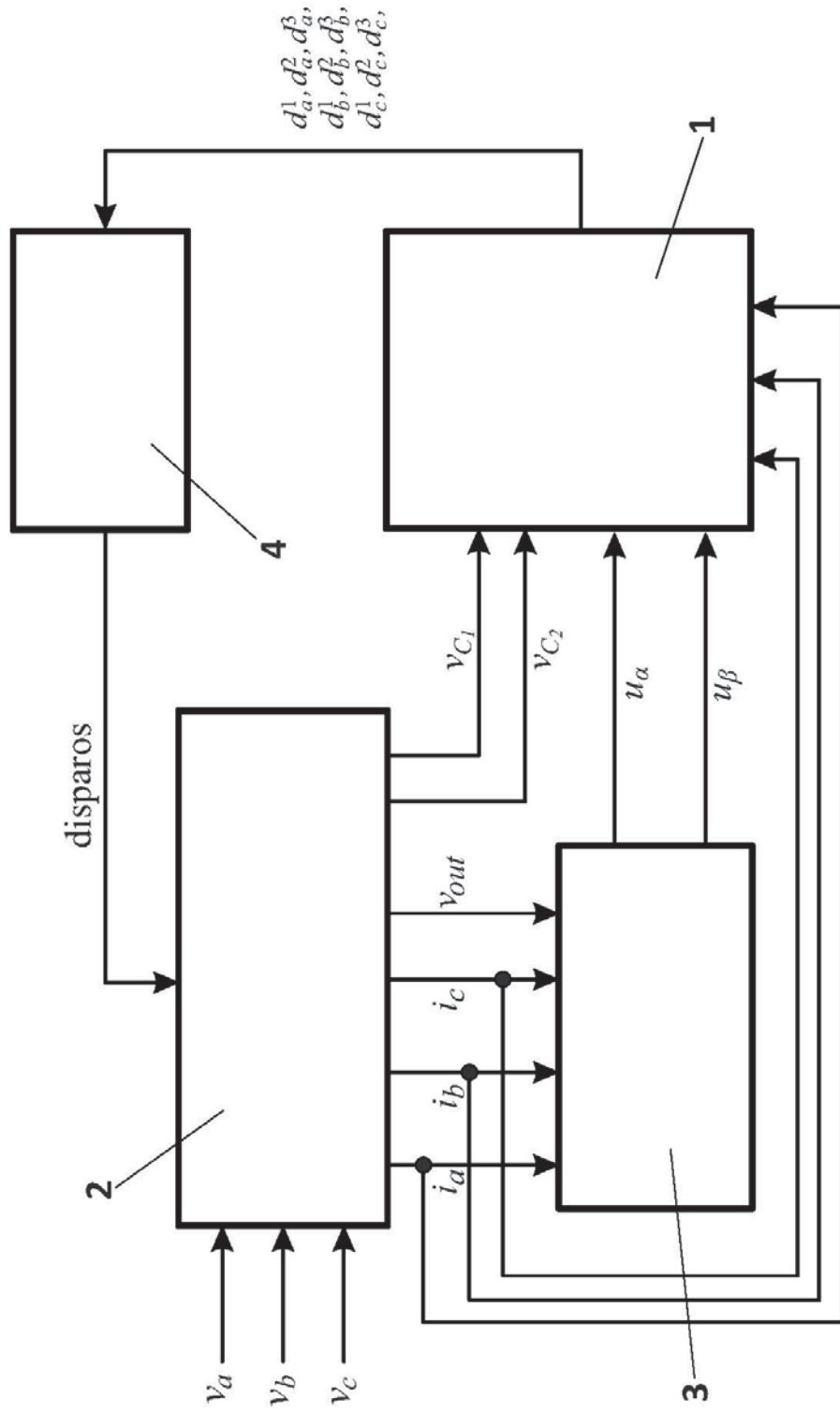


FIG. 1

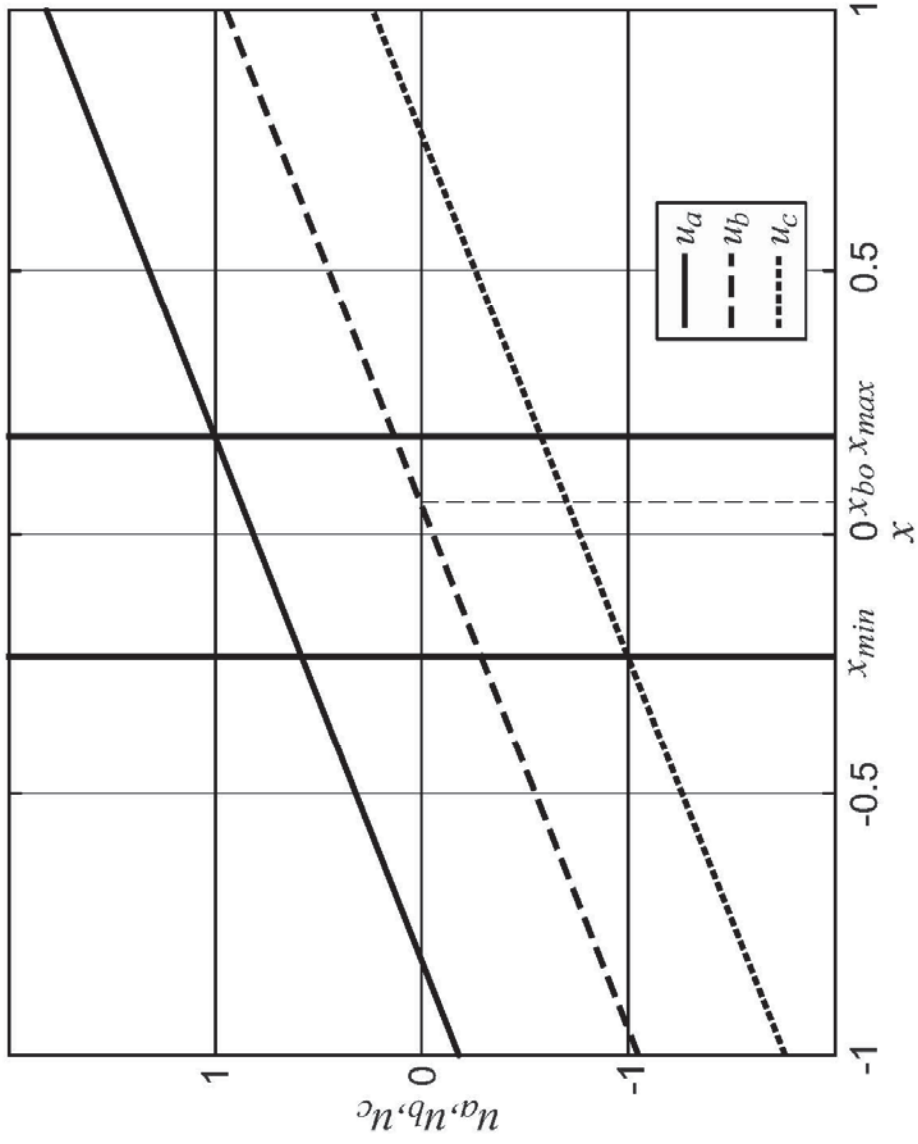


FIG. 2

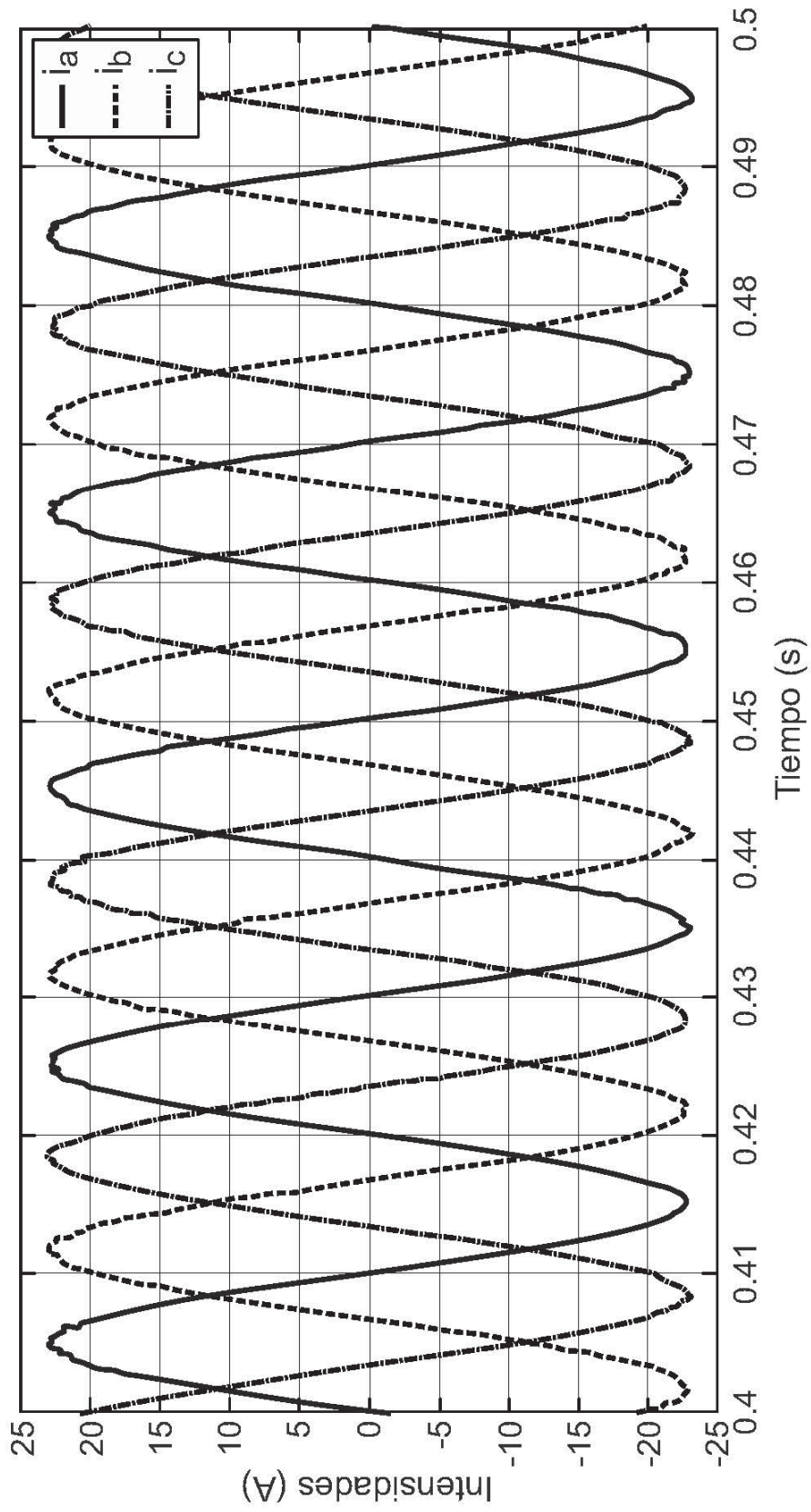


FIG. 3

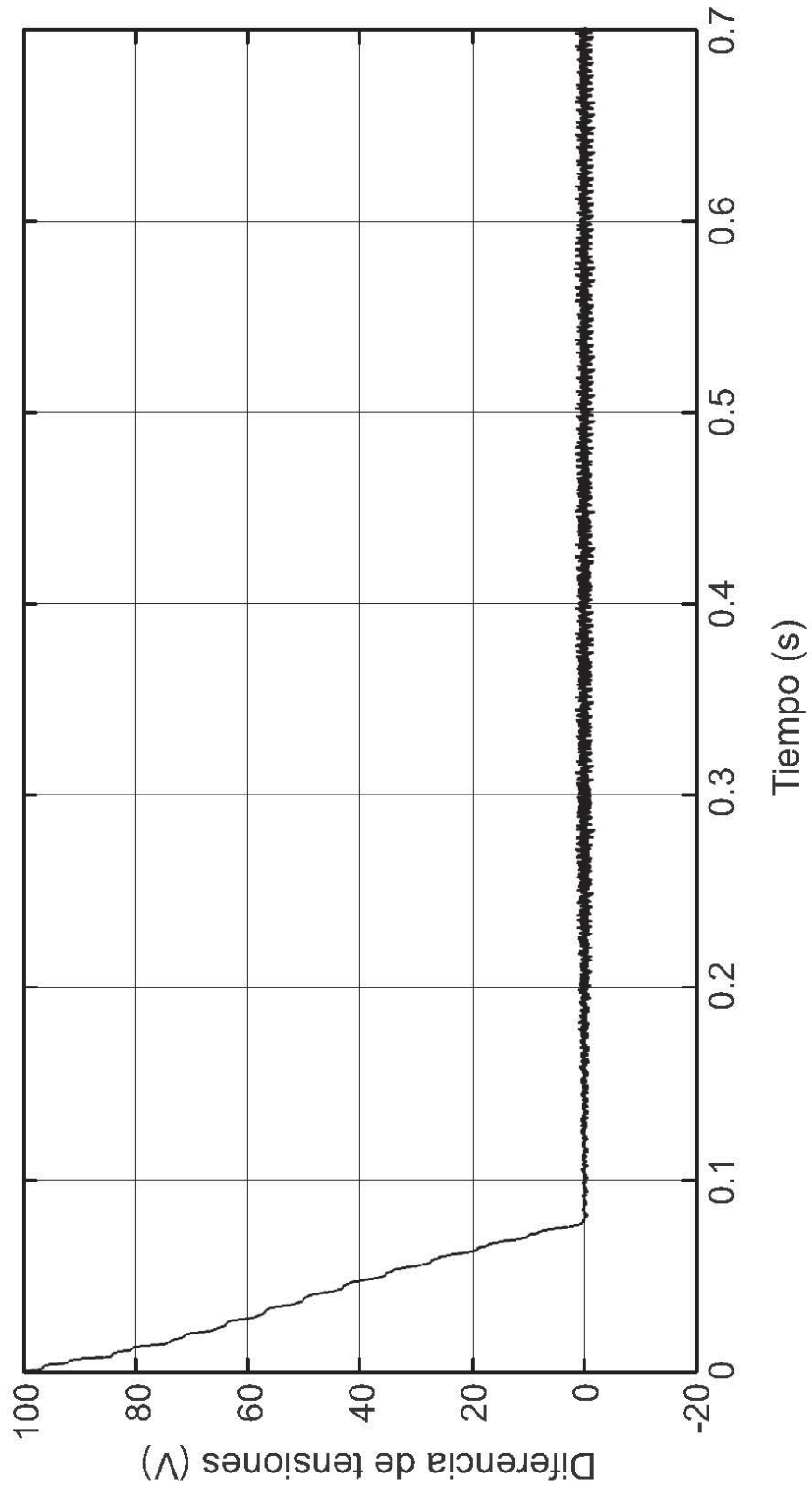


FIG. 4

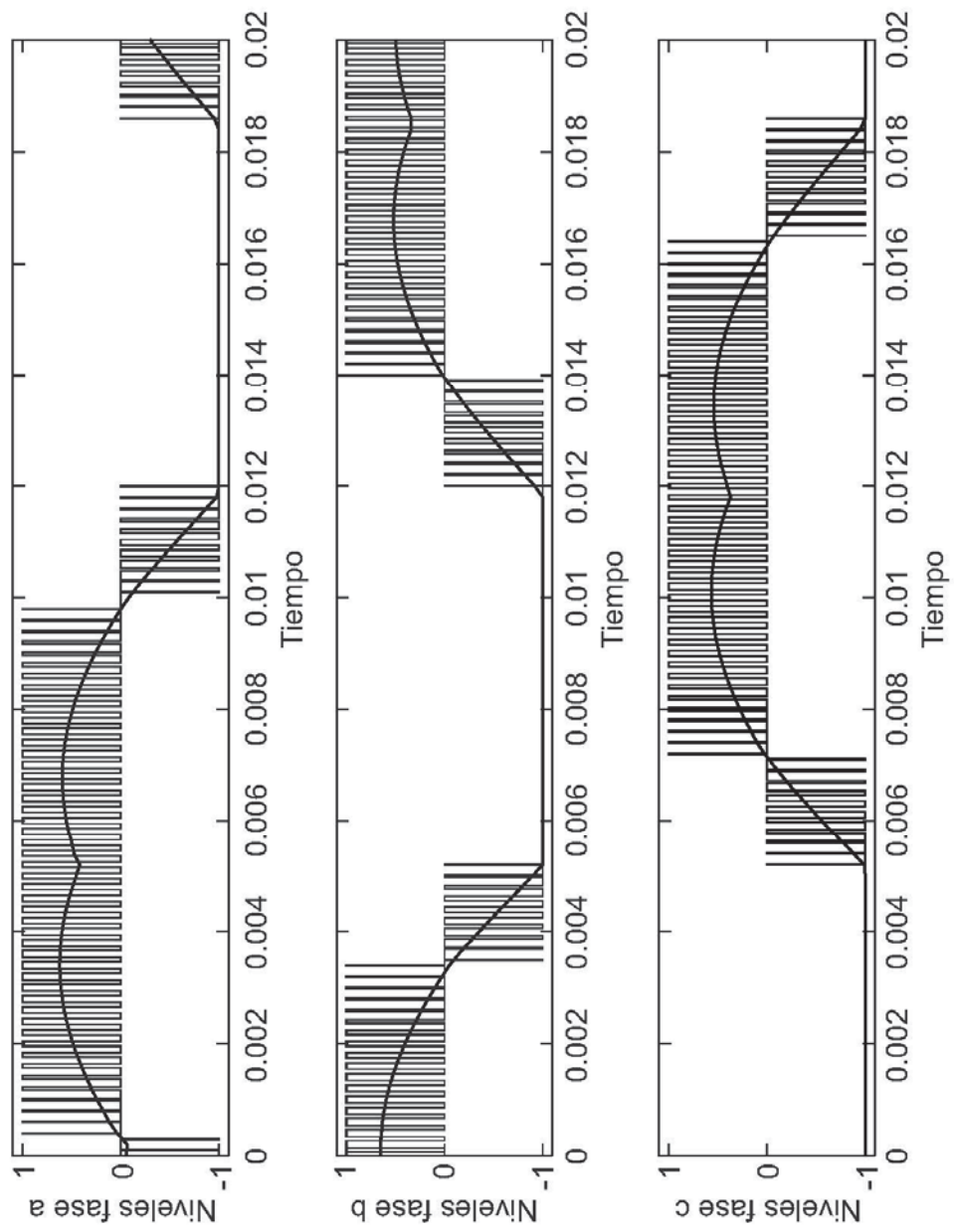


FIG. 5